

(19)

Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 734 993 A2

9

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
02.10.1996 Patentblatt 1996/40

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>: B66C 13/22

(21) Anmeldenummer: 96105123.2

(22) Anmeldetag: 29.03.1996

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
CH DE ES FR IT LI

(30) Priorität: 31.03.1995 DE 19512253

(71) Anmelder: MAN GHH LOGISTICS GMBH  
74076 Heilbronn (DE)

(72) Erfinder:  
• Fischer, Christoph, Dipl.-Ing. (FH)  
74389 Cleebronn (DE)

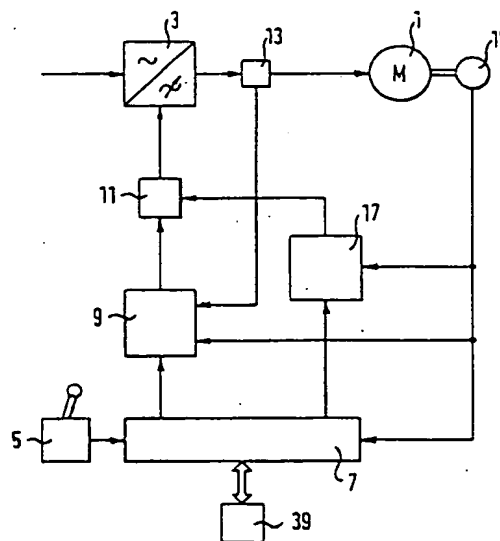
• Bauer, Peter  
74078 Heilbronn (DE)

(74) Vertreter: Liska, Horst, Dr.-Ing. et al  
Patentanwälte,  
H. Weickmann, Dr. K. Fincke,  
F.A. Weickmann, B. Huber,  
Dr. H. Liska, Dr. J. Prechtel,  
Dr. B. Böhm,  
Kopernikusstrasse 9  
81679 München (DE)

## (54) Drehantrieb für einen Drehkran-Ausleger

(57) Für den Drehantrieb eines Auslegers eines Drehkrans, insbesondere eines Turmdrehkrans wird vorgeschlagen, den Elektromotor (1) des Drehantriebs von einer Drehmomentregelanordnung (9) auszuführen und der Drehmomentregelanordnung (9) eine Drehzahlregelanordnung (17) zu unterlagern, die die Führung des Elektromotors (1) von der Drehmomentregelanordnung (9) mit Priorität übernimmt, sobald die Ist-Drehzahl des Elektromotors (1) etwa einer Soll-Drehzahl entspricht. Das Soll-Drehmoment und die Soll-Drehzahl werden manuell an einem Einstellorgan (5) vorgegeben. Die Drehzahlregelanordnung (17) erzeugt im wesentlichen ausschließlich treibende Antriebsdrehmomente. Hierdurch lassen sich trotz einer eventuell schwingfähigen Kranstruktur Dreherschwingungen weitgehend vermeiden und die Drehgeschwindigkeit des Krans auf der an dem Einstellorgan (5) eingestellten Soll-Drehzahl halten. Der Elektromotor (1) wird bevorzugt aus einem Frequenzumrichter (3) mit variabler Frequenz gespeist. Der Frequenzumrichter (3) und der Elektromotor (1) sind für etwa 2/3 der maximal gewünschten Geschwindigkeit bemessen und lassen den Betrieb des Elektromotors (1) im Feldschwächungsbereich zu.

FIG. 1



EP 0 734 993 A2

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Drehantrieb für einen Ausleger eines Drehkrans, insbesondere eines Turmdrehkrans.

Der Ausleger eines Drehkrans, beispielsweise eines Turmdrehkrans, sollte von dem Drehantrieb (Drehwerk) des Auslegers mit vom Kranführer wählbarer Drehgeschwindigkeit gedreht werden können. Dieses Ziel wird an herkömmlichen Drehantrieben nur unvollkommen erreicht. Zum einen können an dem Ausleger, der 70 m und mehr lang sein kann, beträchtliche und stark schwankende Windkräfte angreifen, die die Drehbewegung des Ausleger je nach Windrichtung unterstützen oder auch bremsen können. Darüber hinaus ist die Kran konstruktion, insbesondere bei oben drehenden Turmdrehkränen elastisch. Beispielsweise kann sich der um seine Hochachse drehelastische Turm des Turmdrehkrans um 10° und mehr verwinden.

Es wurde versucht, den Drehantrieb eines Turmdrehkrans drehzahlzuregeln. Es hat sich jedoch gezeigt, daß herkömmliche Drehzahlregelungen zu nicht tolerierbaren Drehschwingungen der Kran konstruktion führen. Es ist ferner bekannt, bei einem Drehantrieb für einen Turmdrehkran lediglich das von dem Elektromotor des Drehantriebs erzeugte Abtriebsdrehmoment auf einen manuell vorgebbaren Drehmoment-Sollwert zu regeln. Zur Unterdrückung von Drehschwingungen wird dafür gesorgt, daß der Drehantrieb auf Sollwert-Änderungen nur mit einer durch eine Rampenfunktion begrenzten Änderungsrate folgt. Durch derartige Drehmomentrampen können auf den Turm einwirkende Drehmomentstöße, wie auch die Rückfederungskräfte des Turms bedämpft werden. Die Drehgeschwindigkeit des Auslegers stellt sich jedoch bei diesem bekannten Drehantrieb frei ein. Die Winddrift des Auslegers kann nicht selbsttätig ausgeglichen werden.

Schließlich ist es bekannt, Wirbelstrombremsen oder auch Flüssigkeitskupplungen an den Drehantrieb zur Bedämpfung der Winddrift und zur Dämpfung von Drehmomentstößen vorzusehen. Auch diese Maßnahmen konnten jedoch in der Praxis auftretende Drehschwingungen des Auslegers nicht verhindern.

Es ist Aufgabe der Erfindung, einen Drehantrieb für einen Ausleger eines Drehkrans, insbesondere eines Turmdrehkrans zu schaffen, der eine im wesentlichen gleichförmige Drehbewegung des Auslegers mit wählbarer Drehgeschwindigkeit erlaubt.

Die Erfindung geht von einem Drehantrieb für einen Ausleger eines Drehkrans, insbesondere eines Turmdrehkrans aus, welcher umfaßt:

- einen Elektromotor,
- eine das Abtriebsdrehmoment des Elektromotors festlegende Drehmomentstellanordnung,
- ein manuell bedienbares Einstellorgan, an dem die Größe und Richtung des Abtriebsdrehmoments variabel einstellbar ist und ist dadurch gekenn-

zeichnet, daß mittels des Einstellorgans zusätzlich zur Größe und Richtung des durch die Drehmomentstellanordnung festgelegten Abtriebsdrehmoments eine Soll-Drehzahlgröße für den Elektromotor variabel vorgebbbar ist, daß dem Elektromotor zusätzlich eine Drehzahlregelanordnung zugeordnet ist, die eine mittels eines Drehzahlgebers erfaßte Ist-Drehzahlgröße der vorgegebenen Soll-Drehzahlgröße nachführt und daß die Drehzahlregelanordnung zur Nachführung der Ist-Drehzahlgröße im wesentlichen ausschließlich ein in der an dem Einstellorgan eingestellten Richtung treibendes Abtriebsdrehmoment zuläßt oder/und ein entgegen der an dem Einstellorgan eingestellten Richtung treibendes Abtriebsdrehmoment auf einen vorbestimmten Wert, insbesondere Null oder nahezu Null begrenzt.

Einem solchen Drehantrieb liegt die Überlegung zugrunde, daß die aus der Elastizität der Kran konstruktion und insbesondere des Kranturms sich ergebende Neigung zu Drehschwingungen verringert werden kann, wenn im wesentlichen ausschließlich ein in der gewünschten Drehrichtung treibendes Abtriebsmoment erzeugt wird. Da im wesentlichen keine Umkehr des Abtriebsdrehmoments erfolgt, bleibt der durch das Abtriebsdrehmoment drehelastisch "aufgezogene" Kranturm gespannt und wird nicht zur Anfachung von Drehschwingungen in entgegengesetzter Drehrichtung federnd verdrillt.

Das vorstehend erläuterte Ziel, den Ausleger eines Drehkrans, insbesondere Turmdrehkrans mit wählbarer Geschwindigkeit möglichst gleichförmig zu bewegen, wird auch unter einem zweiten Aspekt der Erfindung erreicht. Unter dem zweiten Aspekt der Erfindung ist ausgehend von dem vorstehend erläuterten Drehantrieb vorgesehen, daß mittels des Einstellorgans zusätzlich zur Größe und Richtung des durch die Drehmomentstellanordnung festgelegten Abtriebsdrehmoments eine Soll-Drehzahlgröße für den Elektromotor variabel vorgebbbar ist, daß dem Elektromotor zusätzlich eine Drehzahlregelanordnung zugeordnet ist, die eine mittels eines Drehzahlgebers erfaßte Ist-Drehzahlgröße der vorgegebenen Soll-Drehzahlgröße nachführt, daß in einem Bereich von Ist-Drehzahlgrößen kleiner als die an dem Einstellorgan eingestellte Soll-Drehzahlgröße die Drehmomentstellanordnung das Abtriebsdrehmoment des Elektromotors auf die an dem Einstellorgan eingestellte Größe des Abtriebsdrehmoments festlegt und daß bei Ist-Drehzahlgrößen im Bereich der Soll-Drehzahlgröße die Drehzahlregelanordnung das Abtriebsdrehmoment festlegt. Bei dem zweiten Aspekt der Erfindung, der für sich aber auch in Verbindung mit dem erstgenannten Aspekt realisierbar ist, wird der Anfahrvorgang des Drehantriebs durch die Drehmomentstellanordnung bestimmt. Erst wenn sich die Ist-Drehzahlgröße der vorgegebenen Soll-Drehzahlgröße hinreichend angenähert hat, geht die Führung der Drehbewegung von der Drehmomentstellanordnung

auf die Drehzahlregelanordnung über. Die Drehzahlregelung ist hier bei der Drehmomentstellanordnung lediglich unterlagert bei Ist-Drehzahlgrößen im Bereich der Soll-Drehzahlgröße wirksam.

Die Drehmomentstellanordnung oder/und die Drehzahlregelanordnung können Rampensteuermittel umfassen, die bei einer Erhöhung oder/und Erniedrigung des Abtriebsdrehmoments des Elektromotors die Änderungsrate des Abtriebsdrehmoments auf einen vorbestimmten Wert begrenzen oder auf einen vorbestimmten Wert festlegen. Die Rampensteuermittel bewirken eine Bedämpfung des Drehantriebs und mindern die Gefahr der Anfachung von Drehschwingungen des Auslegers.

Bei der Drehmomentstellanordnung kann es sich um eine Steuerung mit offenem Regelkreis handeln. Zweckmäßigerweise ist jedoch mittels des Einstellorgans eine Soll-Drehmomentgröße für das Abtriebsdrehmoment des Elektromotors variabel vorgebbar und die Drehmomentstellanordnung ist bevorzugt als Drehmomentregelanordnung ausgebildet, die eine von Drehmomenterfassungsmitteln erfaßte Ist-Drehmomentgröße der vorgegebenen Soll-Drehmomentgröße nachführt. Die Drehmomentstellanordnung bildet also entsprechend der Drehzahlregelanordnung bevorzugt gleichfalls einen geschlossenen Regelkreis. Ein solcher Regelkreis sorgt für ein besonders gleichmäßiges Abtriebsdrehmoment. Bei den Drehmomenterfassungsmitteln kann es sich um mechanisch das Abtriebsdrehmoment messende Sensoren handeln; die Drehmomenterfassungsmittel können aber auch auf den momentanen Strom und die momentane Spannung des Elektromotors ansprechen und hiervon abhängig sowie ggf. abhängig von der mit Hilfe des Drehzahlgebers erfaßten Ist-Drehzahlgröße eine das Ist-Drehmoment repräsentierende Größe ermitteln.

Die Drehzahlregelanordnung kann bei der Nachführung der Ist-Drehzahlgröße die Größe des in der am Einstellorgan eingestellten Richtung treibenden Abtriebsdrehmoments unabhängig von der an dem Einstellorgan für die Drehmomentstellanordnung eingestellten Größe des Abtriebsmoments steuern. Wenngleich sich auf diese Weise eine vergleichsweise rasche Nachführung der Ist-Drehzahlgröße erreichen läßt, so kann dies doch im Einzelfall zu Pendelschwingungen der an dem Ausleger hängenden Last führen. In einer zweckmäßigen Ausgestaltung ist deshalb vorgesehen, daß die Drehzahlregelanordnung bei der Nachführung der Ist-Drehzahlgröße die Größe des Abtriebsdrehmoments nach oben begrenzt und auf diese Weise kann das auf die elastische Krankonstruktion wirkende, beispielsweise den Kranturm "aufziehende" Moment begrenzt werden. Als besonders günstig hat es sich herausgestellt, wenn die Größe des Abtriebsmoments auf die an dem Einstellorgan für die Drehmomentstellanordnung eingestellte Größe des Abtriebsmoments begrenzt wird. Nachdem üblicherweise die Größe des an dem Einstellorgan abrufbaren Abtriebsdrehmoments der Krankonstruktion, beispiels-

weise der Höhe des Turms oder der Länge des Auslegers angepaßt ist, kann so eine Optimierung der Drehzahlregelung erreicht werden.

Dem Elektromotor des Drehantriebs ist üblicherweise eine mechanische Bremse zugeordnet, die den Drehantrieb bei fehlender Bestromung des Elektromotors arretiert, um Winddrift im Stillstand zu verhindern. Beim Anfahren des Drehantriebs muß die Haltebremse gelöst werden, was zur Folge haben kann, daß bei zu niedrig gewählter Drehmomentstufe die Windkräfte den Ausleger entgegen der gewünschten Drehrichtung verstellen. Um dies zu verhindern, ist in einer bevorzugten Ausgestaltung vorgesehen, daß die Drehzahlregelanordnung bei der Nachführung der Ist-Drehzahlgröße die Größe des Abtriebsdrehmoments lediglich für Ist-Drehzahlgrößen größer als ein vorbestimmter Stillstandstoleranz-Grenzwert nach oben begrenzt, nicht jedoch für Ist-Drehzahlgrößen kleiner als der Stillstandstoleranz-Grenzwert. Der Stillstandstoleranz-Grenzwert bezeichnet einen Drehzahlbereich von einigen Prozent der maximalen Drehgeschwindigkeit.

Solange die Ist-Drehzahlgrößen in diesem Bereich liegen, wird das Antriebsdrehmoment nicht durch die Vorgabe an dem Einstellorgan, sondern ausschließlich durch die Drehzahlregelanordnung bestimmt, die dafür sorgt, daß sich bereits im Moment des Öffnens der Haltebremse des Drehantriebs das Abtriebsdrehmoment des Elektromotors auf einen Wert erhöhen kann, der das Rückdrehen des Auslegers entgegen der gewünschten Drehrichtung verhindert.

Zweckmäßigerweise sind dem Einstellorgan Speichermittel zugeordnet, die in Abhängigkeit von der Einstellung des Einstellorgans Werte für das Abtriebsdrehmoment, insbesondere für die Soll-Drehmomentgröße oder/und Werte für die Soll-Drehzahlgröße speichern und daß Mittel zur wählbaren Korrektur oder/und Auswahl der gespeicherten Werte vorgesehen sind. Auf diese Weise können für das Regelverhalten optimierte Drehmoment- bzw. Drehzahlwerte gespeichert und je nach der Ausbaustufe des Krans, beispielsweise der gewählten Auslegerlänge, abgerufen werden. Im Prinzip genügt ein einziger Satz derartiger Werte, der dann entsprechend der Ausbaustufe des Krans korrigiert wird, oder aber es werden für verschiedene Ausbaustufen unterschiedliche Sätze solcher Werte gespeichert. Es versteht sich, daß das Einstellorgan sowohl in Stufen als auch stufenlos eingestellt werden kann. Bei stufenlos einstellbarem Einstellorgan können die Werte als Funktionsparameter gespeichert sein, die eine Berechnung der gewünschten Drehmoment- bzw. Drehzahlgröße erlauben; die Werte können jedoch auch in Form einer eng gestuften Tabelle oder einer interpolierbaren Tabelle vorgegeben werden.

Bei herkömmlichen Drehantrieben ist der Elektromotor für die maximal gewünschte Drehgeschwindigkeit des Drehantriebs bemessen, d. h. er erzeugt sein Nenn-Drehmoment bei einer Nenn-Drehzahl, bei der sich der Ausleger mit der maximal gewünschten Drehgeschwindigkeit dreht. Unter einem dritten Aspekt der

Erfindung, der für sich, jedoch auch in Verbindung mit jedem der beiden vorangegangenen erläuterten Aspekte in der Praxis einsetzbar ist, können die Komponenten des Drehantriebs für eine geringere Nenn-Leistung bemessen werden und dennoch kann eine höhere maximale Drehgeschwindigkeit des Drehantriebs erreicht werden. Unter dem dritten Aspekt geht die Erfindung aus von einem Drehantrieb, welcher umfaßt:

einen Motor, insbesondere Elektromotor, eine die Abtriebsdrehzahl des Motors festlegende Drehzahlstellanordnung, ein manuell bedienbares Einstellorgan, an dem die Größe der Abtriebsdrehzahl und die Drehrichtung variabel einstellbar ist. Der Drehantrieb ist hierbei dadurch gekennzeichnet, daß die Drehzahlstellanordnung eine Drehzahlstellung bis in den Feldschwächungsbereich des Motors erlaubt und daß die Drehzahlstellanordnung und der Motor für ein Nenn-Drehmoment bei einer Nenn-Drehzahl bemessen sind, die um nicht mehr als etwa 1/3 der maximal einstellbaren Abtriebsdrehzahl des Elektromotors kleiner ist als die maximale Abtriebsdrehzahl. Bei einem solchen Drehantrieb wird der Motor in an sich bekannten Weise im Feldschwächungsbereich betrieben, in welchem unter Minderung des Abtriebsdrehmoments die Drehzahl über die Nenn-Drehzahl hinaus erhöht werden kann. Durch die Begrenzung der maximalen Abtriebsdrehzahl auf maximal das etwa 1,5fache der Nenn-Drehzahl wird sichergestellt, daß einerseits der Antrieb trotz des sich im Feldschwächungsbereichs verringern- den Abtriebsdrehmoments des Motors auf die gewünschte maximale Enddrehzahl beschleunigen kann und es wird sichergestellt, daß auch bei den Ausleger schiebenden Windmomenten noch hinreichendes Bremsmoment für das Abbremsen des Auslegers zur Verfügung steht. Bei dem Motor kann es sich um einen Elektromotor, aber auch um einen sonstigen, im Feldschwächungsbereich betreibbaren Motor, insbesondere einen Hydraulikmotor, handeln.

In einer bevorzugten Ausgestaltung ist der als Elektromotor ausgebildete Motor an einen die Motortreiberströme mit änderbarer Frequenz liefernden Frequenzumrichter angeschlossen, wobei die Drehzahlstellanordnung die Frequenz des Frequenzumrichters festlegt. Derartige Frequenzumrichterantriebe erlauben auf besonders einfache Weise eine betriebssichere Steuerung bis in den Feldschwächungsbereich hinein. Ein Beispiel eines derartigen Frequenzumrichterantriebs ist aus DE 40 38 981 A bekannt. Bei dem dort beschriebenen Elektromotor handelt es sich um einen Wechselstrommotor. Der Frequenzumrichterantrieb läßt sich jedoch in gleicher Weise auch für Gleichstrommotore ausnutzen, beispielsweise bei gepulsten Gleichstrom-Treiberströmen. Bei der Drehzahlstellan-

ordnung kann es sich um einen offenen oder einen geschlossenen Regelkreis handeln.

Im folgenden wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand einer Zeichnung näher erläutert. Es zeigt:

- Figur 1 ein schematisches Blockschaltbild einer bevorzugten Ausführungsform eines Drehantriebs für einen Ausleger eines Drehkrans, insbesondere eines obendrehenden Turmdrehkrans;
- Figur 2 ein Diagramm zur Erläuterung der zeitabhängigen Drehmomentcharakteristik des Drehantriebs nach Figur 1;
- Figur 3 ein Diagramm zur Erläuterung der zeitabhängigen Drehzahlcharakteristik des Drehantriebs nach Figur 1 und
- Figur 4 ein Diagramm zur Erläuterung der Drehmomentcharakteristik des Drehantriebs nach Figur 1 in Abhängigkeit von dessen Drehzahl.

Wie Figur 1 zeigt, umfaßt der Drehantrieb einen Elektromotor 1, der über ein nicht näher dargestelltes Untersetzungsgetriebe ein mit einem Zahnkranz kämmendes Ritzel treibt. Der Elektromotor 1 ist bei einem oben drehenden Turmdrehkran zusammen mit dem Ausleger am oberen Ende des Kransturms angeordnet und kann von einer gleichfalls nicht dargestellten, aber üblichen, steuerbaren Haltebremse im stromlosen Zustand dreharretiert werden.

Der Elektromotor 1 wird von einem Frequenzumrichter 3 gespeist, der phasenversetzte Drehfeld-Treiberströme variabler Frequenz erzeugt. Durch Einstellen der Frequenz kann die Drehzahl des Elektromotors 1 und damit die Drehgeschwindigkeit, mit der der Ausleger um eine vertikale Drehachse dreht, variiert werden. Bei dem Elektromotor 1 kann es sich um einen Drehstrom-Wechselstrommotor, beispielsweise einen Asynchronmotor handeln; er kann aber auch als Gleichstrom-Schrittmotor oder dergleichen ausgebildet sein. Der Frequenzumrichter 3 kann im Prinzip herkömmlich ausgebildet sein, soweit er nicht nur die Variation der Drehzahl des Elektromotors 1 zuläßt, sondern auch die Variation des von dem Elektromotor 1 erzeugten Abtriebsdrehmoments. Ein geeigneter Frequenzumrichter mit zugehöriger Steuerschaltung ist beispielsweise in DE 40 38 981 A erläutert.

Der Betrieb des Drehantriebs wird von einem vom Kranführer manuell bedienbaren Einstellorgan 5, beispielsweise einem Meisterschalter oder dergleichen gesteuert. An dem Einstellorgan 5 kann der Kranführer Leistungsstufen des Drehantriebs einstellen, von denen jede ein vorbestimmtes Abtriebsdrehmoment des Elektromotors 1 und, dem Abtriebsdrehmoment zugeordnet, eine vorbestimmte Drehzahl des Elektromotors 1 fest-

legt. Anstelle der im folgenden beschriebenen gestuften Arbeitsweise des Einstellorgans 5 kann auch eine stufenlose Variante zum Einsatz kommen. Das Einstellorgan 5 steuert über eine Steuerung 7, die Bestandteil einer allgemeinen Kransteuerung sein kann, einen Drehmomentregler 9, der eine Ist-Drehmomentgröße mit einer von der Steuerung 7 in Abhängigkeit von der Einstellung des Einstellorgans 5 gelieferten Soll-Drehmomentgröße vergleicht und über eine nachfolgend näher erläuterte Steuerlogik 11 den Frequenzumrichter 3 so einstellt, daß die Ist-Drehzahlgröße gleich der Soll-Drehzahlgröße ist, also der Soll-Drehzahlgröße folgt. Für die Erfassung der Ist-Drehzahlgröße sind bei 13 angeordnete Sensormittel vorgesehen, die den Ist-Zustand der Motorströme und der Motorspannung erfassen und es dem Drehmomentregler 9, ggf. in Verbindung mit einer von einem Drehzahlgeber 15, beispielsweise einem mit dem Elektromotor 1 gekuppelten Tachometer gelieferten Ist-Drehzahlgröße ermöglichen, die Ist-Drehmomentgröße zu errechnen. Es versteht sich, daß zur Bestimmung der Ist-Drehmomentgröße auch ein mechanisch das Drehmoment erfassender Drehmomentsensor vorgesehen sein kann. Zugleich kann an dem Einstellorgan 5 die Drehrichtung ausgewählt werden, in welcher der Drehantrieb den Ausleger antreiben soll.

Der Drehmomentregler 9 ist für sich genommen nicht in der Lage, Drehgeschwindigkeit des Auslegers auf einem gewünschten Wert zu halten. Abhängig von Windmomenten, die auf den Ausleger wirken, würde die Drehgeschwindigkeit variieren. Um trotzdem die gewünschte Drehgeschwindigkeit einstellen zu können, ist der Drehmomentregelung eine Drehzahlregelung unterlagert, die in der nachfolgend noch näher erläuterten Weise mit Priorität zu dem Drehmomentregler 9 die Führung des Frequenzumrichters 3 übernimmt. Der Drehantrieb umfaßt hierzu einen Drehzahlregler 17, der die von dem Drehzahlsensor 15 gelieferte Ist-Drehzahlgröße mit einer, abhängig von der Einstellung des Einstellorgans 5 von der Steuerung 7 gelieferten Soll-Drehzahlgröße vergleicht und die Ist-Drehzahlgröße auf den Wert der Soll-Drehzahlgröße regelt, d. h. der Soll-Drehzahlgröße nachführt, nachdem der Drehmomentregler 9 den Drehantrieb auf eine Drehgeschwindigkeit gebracht hat, bei welcher die Ist-Drehzahlgröße bereits nahe der Soll-Drehzahlgröße liegt. In diesem Fall schaltet die Steuerlogik 11 den Frequenzumrichter 3 von der Führung durch den Drehmomentregler 9 auf die Führung durch den Drehzahlregler 17 um. Der Drehzahlregler 17 steuert dann die Frequenz des Frequenzumrichters 3 entsprechend der Soll-Drehzahlgröße. Das von dem Elektromotor 1 erzeugte Abtriebsdrehmoment kann sich hierbei ändern, beispielsweise auf das zur Aufrechterhaltung der Drehgeschwindigkeit benötigte Beharrungsmoment erniedrigen.

Die Figuren 2 und 3 zeigen Einzelheiten der vorstehend erläuterten Wirkungsweise. In Figur 2 ist das Abtriebsdrehmoment  $M$  des Elektromotor 1 in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  dargestellt; Figur 3 zeigt die Dreh-

zahl  $n$  des Elektromotors 1 gleichfalls in Abhängigkeit von der Zeit  $t$ . Mit durchgehenden Linien ist in Figur 2 für mehrere Einstellstufen  $S_1, S_2$  bis  $S_i$  des Einstellorgans 5 der zeitliche Verlauf der Soll-Drehmomentgröße  $M_s$  dargestellt. Mit einer strichpunktierten Linie  $M_i$  ist der zeitliche Verlauf der sich ergebenden Ist-Drehmomentgröße angedeutet. In analoger Weise zeigt Figur 3 mit durchgezogenen Linien für die Einstellstufen  $S_1, S_2$  und  $S_i$  den zeitlichen Verlauf der Soll-Drehzahlgrößen  $n_s$  und mit einer strichpunktierten Linie angedeutet den sich daraus ergebenden zeitlichen Verlauf der Ist-Drehzahlgröße  $n_i$ .

Die Wirkungsweise soll stellvertretend für die übrigen Einstellstufen am Beispiel der Einstellstufe  $S_1$  erläutert werden. Es sei angenommen, daß der Drehantrieb zunächst stillsteht und zum Zeitpunkt  $t_0$  das Einstellorgan 5 (Figur 1) auf die Einstellstufe  $S_1$  gestellt wird. Die Steuerung 7 erhöht nach einer vorbestimmten Rampenfunktion die in den Figuren 2 und 3 bei 19 bzw. 21 angedeutet ist, die Soll-Drehmomentgröße  $M_s$  und die Soll-Drehzahlgröße  $n_s$  bis auf den der Einstellstufe  $S_1$  zugeordneten Wert. Bis auf eine nachfolgend noch näher erläuterte Startphase des Drehantriebs übernimmt zunächst der Drehmomentregler 9 die Führung des Frequenzumrichters 3 und sorgt dafür, daß die Ist-Drehmomentgröße  $M_i$  der Soll-Drehmomentgröße  $M_s$  nachgeführt wird. Zum Zeitpunkt  $t_1$  erreicht die Ist-Drehzahlgröße  $n_i$  des so beschleunigten Drehantriebs den Wert der Soll-Drehzahlgröße  $n_s$ , womit der Drehzahlregler 17 die Führung des Frequenzumrichters 3 übernimmt und die Ist-Drehzahlgröße  $n_i$ , wie in Figur 3 erkennbar, der Soll-Drehzahlgröße  $n_s$  nachführt. Die Ist-Drehmomentgröße  $M_i$  fällt, wie Figur 2 zeigt, ggf. über eine Rampenfunktion auf einen Beharrungswert 23 ab. Der Beharrungswert 23 reicht aus, um den beschleunigten Ausleger gegen Reibung und Windmoment in der gewünschten Drehrichtung fortzubewegen. Zum Zeitpunkt  $t_3$  wird das Einstellorgan 5 wieder in seine Ruhelage zurückgestellt. Die Einstelländerung veranlaßt die Steuerung 7 sowohl die Soll-Drehmomentgröße  $M_s$  als auch die Soll-Drehzahlgröße  $n_s$  nach vorbestimmten Rampenfunktionen 25 bzw. 27 zu verringern, bis der Drehantrieb im wesentlichen zum Stillstand gekommen ist und bei Bedarf dann die Haltebremse einfällt.

Da die Sollgröße sowohl des Drehmomentreglers 9 als auch des Drehzahlreglers 17 nach vorbestimmten Rampenfunktionen geändert werden, werden Drehmomentstöße des Drehantriebs, die die Krankonstruktion zu Drehschwingungen anregen könnten, weitgehend unterdrückt. Aber auch eine weitere Maßnahme ist für die weitgehende Unterdrückung von Drehschwingungen der Krankonstruktion verantwortlich. Während der Drehmomentregler 9 im Vierquadrantenbetrieb arbeiten kann, also sowohl in der gewünschten Drehrichtung treibende Drehmomente als auch Bremsmomente, d. h. entgegen der gewünschten Drehrichtung wirkende Drehmomente zuläßt, ist der Drehzahlregler 17 so ausgebildet, daß er im wesentlichen nur in der gewünsch-

ten Drehrichtung treibende Drehmomente zuläßt. Soweit der Frequenzumrichter 3 von dem Drehzahlregler 17 geführt wird, wird verhindert, daß der Drehantrieb die bei der Beschleunigung des Auslegers durch das Reaktionsmoment drehelastisch verspannte Krankonstruktion, insbesondere des Kranturms, zu Drehschwin-

ngen veranlaßt. In Figur 3 ist mit einer gestrichelten Linie bei 29 der Verlauf der Ist-Drehzahlgröße  $n_i$  für den Fall einer zeitlich begrenzten Beschleunigung des Auslegers durch in der gewünschten Drehrichtung treibende Windkräfte angedeutet. Figur 2 zeigt bei 31 gleichfalls durch eine gestrichelte Linie, daß der Drehzahlregler 17 das Beharrungsmoment im wesentlichen auf Null absenkt und allenfalls ein geringes, entgegen der gewünschten Drehrichtung wirkendes Bremsdrehmoment zuläßt.

Die Verhältnisse für den Fall eines bremsenden Windmoments zeigt Figur 3 mit einer gepunkteten Linie 33 für den Fall einer zeitlich begrenzten Abbremsung, d. h. Verringerung der Ist-Drehzahlgröße  $n_i$ . In diesem Fall erhöht der Drehzahlregler 17 unabhängig von der den Drehmomentregler 9 führenden Soll-Drehmomentgröße  $M_s$  das Drehmoment entsprechend dem in Figur 2 durch eine punktierte Linie 35 angedeuteten Verlauf. Wie der Verlauf 35 zeigt, ist der Maximalwert, mit dem der Drehzahlregler 17 zum Ausgleich des bremsenden Windmoments das treibende Antriebsdrehmoment des Elektromotor 1 erhöht, auf den Wert  $M_s$  der an dem Einstellorgan 5 für die Einstellstufe  $S_1$  eingestellten Soll-drehmomentgröße  $M_s$  nach oben begrenzt. Bei Einstellung einer anderen Einstellstufe wird der Begrenzungswert entsprechend der Soll-Drehmomentgröße dieser Einstellstufe begrenzt. Durch die Begrenzung der von dem Drehzahlregler 17 vorgebbaren Drehmomentgrößen nach unten im wesentlichen auf den Wert Null und nach oben auf einen vorbestimmten oberen Grenzwert, beispielsweise die Soll-Drehmomentgröße  $M_s$  des Drehmomentreglers 9, lassen sich Pendelschwingungen der an dem Ausleger hängenden Last beträchtlich verringern. Es versteht sich, daß anstelle der den Drehmomentregler 9 führenden Soll-Drehmomentgröße  $M_s$  auch andere Werte für die obere Begrenzung des Drehmoments gewählt sein können. Die Drehmomentbegrenzung nach oben kann jedoch insgesamt auch entfallen.

Bei Stillstand des Drehantriebs arretiert die Haltebremse ggf. den Ausleger. Beim Öffnen der Haltebremse muß aber sichergestellt sein, daß das an dem Einstellorgan 5 eingestellte, treibende Antriebsdrehmoment des Elektromotors 1 in jedem Fall ausreicht, um auch gegen rückdrehende Windmomente den Ausleger zumindest in der Stillstandslage zu halten, oder aber in der gewünschten Drehrichtung zu beschleunigen und zwar auch dann, wenn der Kranführer an dem Einstellorgan 5 eine zur Überwindung des rückdrehenden Windmoments nicht ausreichende Einstellstufe gewählt haben sollte. Um dieses Ziel zu erreichen, wird in der Anfangsphase der Drehbewegung das Abtriebsdrehmoment des Elektromotors 1 nicht durch die den Dreh-

momentregler 9 führende Soll-Drehmomentgröße  $M_s$  bestimmt, sondern durch den Drehzahlregler 17. In der Anfangsphase hat der Drehzahlregler 17 gegenüber dem Drehmomentregler 9 Priorität und bestimmt das Anfangsdrehmoment des Elektromotors, solange die Ist-Drehzahlgröße innerhalb einer bei 37 in Figur 3 angedeuteten Stillstandstoleranz-Grenze liegt. Die Stillstandstoleranz-Grenze 37 liegt in der Nähe des Nullpunkts der Drehzahlgröße, beispielsweise bei einigen wenigen Prozent der maximalen Drehzahl, wie z. B. 5 %. Das in der Anfangsphase zulässige Drehmoment ist nach oben nicht begrenzt, bzw. ist zumindest auf einen solchen Wert begrenzt, der das maximal zulässige, rückdrehende Windmoment ausgleichen kann. Wird im Stillstand des Drehantriebs die Haltebremse gelöst, so sorgt die Drehzahlregelung 17 unabhängig von der am Einstellorgan 5 eingestellten Soll-Drehmomentgröße für ein den Ausleger auch gegen Windkräfte sicher haltendes Rückdrehmoment. Der Kranführer kann die Einstellstufe des Einstellorgans 5 erhöhen, sollte dieses Moment nicht auch zur Beschleunigung des Auslegers ausreichen. Sobald die Ist-Drehzahlgröße den Stillstandstoleranz-Wert 37 erreicht (Zeitpunkt  $t_4$  in Figur 3), geht die Führung des Frequenzumrichters 3 von dem Drehzahlregler 17 auf den Drehmomentregler 9 über und die Beschleunigung des Auslegers auf die Soll-Drehzahl erfolgt, wie vorstehend erläutert.

Herkömmliche Turmdrehkrane haben segmentierte Ausleger, so daß die Auslegerlänge im Einzelfall den Bedürfnissen entsprechend variiert werden kann. Mit sich ändernder Auslegerlänge ändern sich jedoch die Schwingungseigenschaften und Trägheitsmassen der Krankonstruktion. Um dem Rechnung zu tragen, sind die Sollgrößen für die einzelnen Einstellstufen des Einstellorgans 5 in einem Datenspeicher 39 der Steuerung 7 gespeichert und können entsprechend der Ausbaustufe des Krans abgerufen oder variiert werden. Dies kann beispielsweise durch eine Variation der gespeicherten Werte entsprechend einem vorbestimmten Algorithmus erfolgen oder aber indem in dem Speicher 39 für jede einzelne mögliche Ausbaustufe geeignete Datensätze gespeichert sind.

Drehantriebe für Drehkrane werden üblicherweise so ausgelegt, daß ihr Elektromotor auch unter ungünstigsten Betriebsbedingungen, beispielsweise bei mit maximaler Drehgeschwindigkeit und maximalem treibenden Windmoment den Ausleger sicher abbremsen kann. Im Einzelfall kann dies zu vergleichsweise groß dimensionierten Drehantrieben führen. Im Gegensatz dazu ist der Frequenzumrichter 3 und der Elektromotor 1 des Drehantriebs nach Figur 1 lediglich für etwa 2/3 der maximalen, gewünschten Drehgeschwindigkeit und damit Leistung des Drehantriebs ausgelegt. Figur 4 zeigt das auf das Nenn-Abtriebsdrehmoment  $M_N$  bezogene Abtriebsdrehmoment  $M$  des Elektromotors 1 in Abhängigkeit von dem auf die Nenn-Drehzahl  $n_N$  des Elektromotors bezogenen Drehzahl  $n$ . Der Elektromotor 1 erreicht das Nenn-Drehmoment  $M_N$  bei einer Nenn-Drehzahl  $n_N$ , die bei etwa 2/3 der maximalen Betriebs-

drehzahl liegt. Im Drehzahlbereich zwischen Null und der Nenn-Drehzahl ( $n/n_N = 1$ ) erreicht der Elektromotor 1 das Nenn-Drehmoment  $M_N$ , wird also herkömmlich in seinem Arbeitsstellbereich betrieben. In dem Drehzahlbereich zwischen der Nenn-Drehzahl  $n_N$  und einer maximalen Drehzahl, gleich etwa  $1,5 n_N$  wird der Elektromotor 1 im Feldschwächungsbereich betrieben, wobei die Drehmomentcharakteristik etwa hyperbelförmig in einer Kurve konstanter Leistung mit wachsender Drehzahl abnimmt. Durch die Begrenzung der maximalen Drehzahl auf etwa das 1,5fache der Nenn-Drehzahl wird unter Berücksichtigung des Rückwärtswirkungsgrads des Drehantriebs sichergestellt, daß auch bei schiebenden maximalen Windmomenten das Abtriebsdrehmoment des Elektromotors 1 zum Abbremsen des Auslegers ausreicht. Wird beispielsweise der Wirkungsgrad des Drehantriebs zu 85 % angenommen, so ergibt sich aus der Quadrierung des Wirkungsgrads für den Rückwärtsbetrieb durch schiebende Windmomente ein Momentenbedarf von etwa 72 %, bezogen auf den Antrieb in der gewünschten Drehrichtung. Wie die Charakteristik in Figur 4 zeigt, liegt damit die maximal zulässige Grenze für die Ausnutzung des Feldschwächungsbereichs bei etwa dem 1,5fachen der Nenn-Drehzahl. Es versteht sich, daß Abweichungen von diesen Grenzwerten bei abweichenden Wirkungsgraden zulässig sind. Es versteht sich ferner, daß die Idee, den Feldschwächungsbereich bei einem Drehantrieb für den Ausleger eines Drehkrans auszunutzen, auch bei anderen Drehantriebskonstruktionen einsetzbar ist, sofern der Elektromotor nur im Feldschwächungsbereich betrieben werden kann.

#### Patentansprüche

1. Drehantrieb für einen Ausleger eines Drehkrans, insbesondere eines Turmdrehkrans, umfassend:

- einen Elektromotor (1),
- eine das Abtriebsdrehmoment des Elektromotors (1) festlegende Drehmomentstellanordnung (9),
- ein manuell bedienbares Einstellorgan (5), an dem die Größe und Richtung des Abtriebsdrehmoments variabel einstellbar ist,

dadurch gekennzeichnet,

daß mittels des Einstellorgans (5) zusätzlich zur Größe und Richtung des durch die Drehmomentstellanordnung (9) festgelegten Abtriebsdrehmoments eine Soll-Drehzahlgröße für den Elektromotor (1) variabel vorgebbar ist, daß dem Elektromotor (1) zusätzlich eine Drehzahlregelanordnung (17) zugeordnet ist, die eine mittels eines Drehzahlgebers (15) erfaßte Ist-Drehzahlgröße der vorgegebenen Soll-Drehzahlgröße nachführt, und daß die Drehzahlregelanordnung (17) zur Nachführung der Ist-Drehzahlgröße im wesentlichen ausschließlich ein in der an dem Einstellorgan (5)

eingestellten Richtung treibendes Abtriebsdrehmoment zuläßt oder/und ein entgegen der an dem Einstellorgan (5) eingestellten Richtung treibendes Abtriebsdrehmoment auf einen vorbestimmten Wert, insbesondere Null oder nahezu Null, begrenzt.

2. Drehantrieb für einen Ausleger eines Drehkrans, insbesondere eines Turmdrehkrans, umfassend:

- einen Elektromotor (1),
- eine das Abtriebsdrehmoment des Elektromotors (1) festlegende Drehmomentstellanordnung (9),
- ein manuell bedienbares Einstellorgan (5), an dem die Größe und Richtung des Abtriebsdrehmoments variabel einstellbar ist, insbesondere nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mittels des Einstellorgans (5) zusätzlich zur Größe und Richtung des durch die Drehmomentstellanordnung (9) festgelegten Abtriebsdrehmoments eine Soll-Drehzahlgröße für den Elektromotor (1) variabel vorgebbar ist, daß dem Elektromotor (1) zusätzlich eine Drehzahlregelanordnung (17) zugeordnet ist, die eine mittels eines Drehzahlgebers (15) erfaßte Ist-Drehzahlgröße der vorgegebenen Soll-Drehzahlgröße nachführt, daß in einem Bereich von Ist-Drehzahlgrößen kleiner als die an dem Einstellorgan (5) eingestellte Soll-Drehzahlgröße die Drehmomentstellanordnung (9) das Abtriebsdrehmoment des Elektromotors (1) auf die an dem Einstellorgan (5) eingestellte Größe des Abtriebsdrehmoments festlegt und daß bei Ist-Drehzahlgrößen im Bereich der Soll-Drehzahlgröße die Drehzahlregelanordnung (17) das Abtriebsdrehmoment festlegt.

3. Drehantrieb nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Drehmomentstellanordnung (9) oder/und die Drehzahlregelanordnung (17) Rampensteuermittel umfassen, die bei einer Erhöhung oder/und Erniedrigung des Abtriebsdrehmoments des Elektromotors (1) die Änderungsrate des Abtriebsdrehmoments auf einen vorbestimmten Wert begrenzen oder auf einen vorbestimmten Wert festlegen.

4. Drehantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß mittels des Einstellorgans (5) eine Soll-Drehmomentgröße für das Abtriebsdrehmoment des Elektromotors (1) variabel vorgebbar ist und daß die Drehmomentstellanordnung (9) als Drehmomentregelanordnung ausgebildet ist, die eine von Drehmomenterfassungsmitteln (13) erfaßte Ist-Drehmomentgröße der vorgegebenen Soll-Drehmomentgröße nachführt.

5. Drehantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Drehzahlregelanordnung (17) bei der Nachführung der Ist-Drehzahlgröße die Größe des in der am Einstellorgan (5) eingestellten Richtung treibenden Abtriebsdrehmoments unabhängig von der an dem Einstellorgan (5) für die Drehmomentstellanordnung (9) eingestellten Größe des Abtriebsdrehmoments steuert. 5
6. Drehantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Drehzahlregelanordnung (17) bei der Nachführung der Ist-Drehzahlgröße die Größe des Abtriebsdrehmoments nach oben begrenzt, insbesondere auf die an dem Einstellorgan (5) für die Drehmomentstellanordnung (9) eingestellte Größe des Abtriebsdrehmoments begrenzt. 10 15
7. Drehantrieb nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Drehzahlregelanordnung (17) bei der Nachführung der Ist-Drehzahlgröße die Größe des Abtriebsdrehmoments lediglich für Ist-Drehzahlgrößen größer als ein vorbestimmter Stillstandstoleranz-Grenzwert (37) nach oben begrenzt, nicht jedoch für Ist-Drehzahlgrößen kleiner als der Stillstandstoleranz-Grenzwert (37). 20 25
8. Drehantrieb nach Anspruch 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß dem Einstellorgan (5) Speichermittel (39) zugeordnet sind, die in Abhängigkeit von der Einstellung des Einstellorgans (5) Werte für das Abtriebsdrehmoment, insbesondere für die Soll-Drehmomentgröße oder/und Werte für die Soll-Drehzahlgröße speichern und daß Mittel zur wählbaren Korrektur oder/und Auswahl der gespeicherten Werte vorgesehen sind. 30 35
9. Drehantrieb für einen Ausleger eines Drehkrans, insbesondere eines Turmdrehkrans, umfassend: 40
- einen Motor, insbesondere Elektromotor (1),
  - eine die Abtriebsdrehzahl des Motors (1) festlegende Drehzahlstellanordnung (17),
  - ein manuell bedienbares Einstellorgan (5), an dem die Größe der Abtriebsdrehzahl und die Drehrichtung variabel einstellbar ist, insbesondere nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Drehzahlstellanordnung (17) eine Drehzahlstellung bis in den Feldschwächungsbereich des Motors (1) erlaubt und daß die Drehzahlstellanordnung (17) und der Motor (1) für ein Nenn-Drehmoment bei einer Nenn-Drehzahl bemessen sind, die um nicht mehr als etwa 1/3 der maximal einstellbaren Abtriebsdrehzahl des Elektromotors kleiner ist als die maximale Abtriebsdrehzahl. 45 50 55
10. Drehantrieb nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Elektromotor (1) an einen Motor-Treiberströme mit änderbarer Frequenz liefernden Frequenzumrichter (3) angeschlossen ist und daß die Drehzahlstellanordnung (17) die Frequenz des Frequenzumrichters (3) festlegt.



FIG. 1

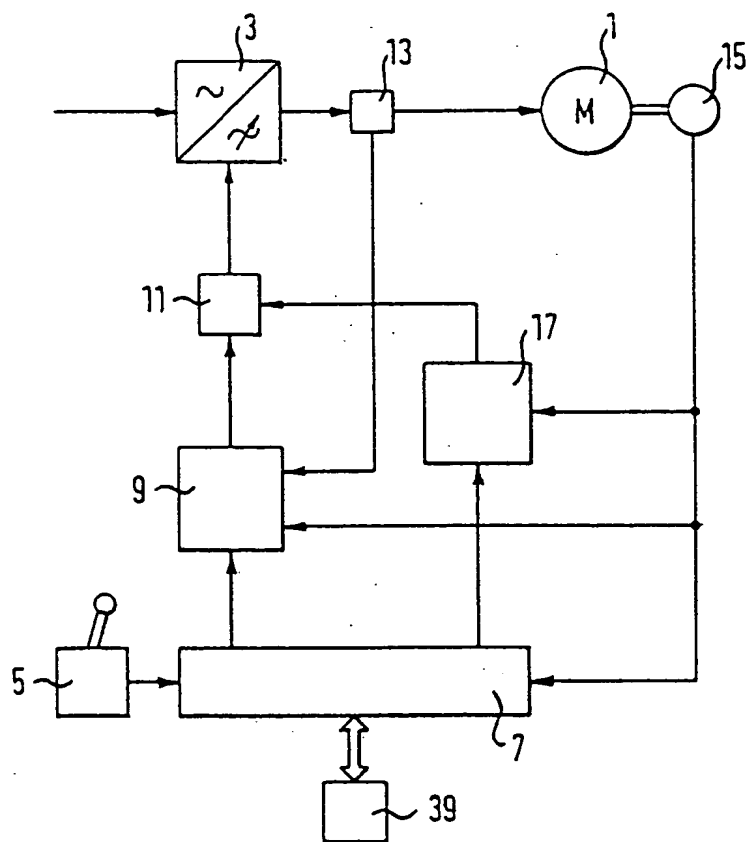


FIG. 4

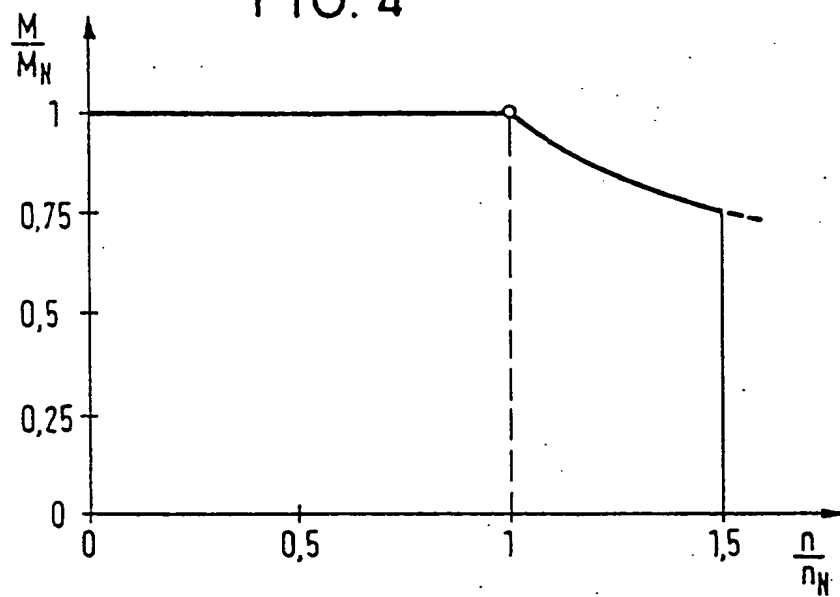


FIG. 2

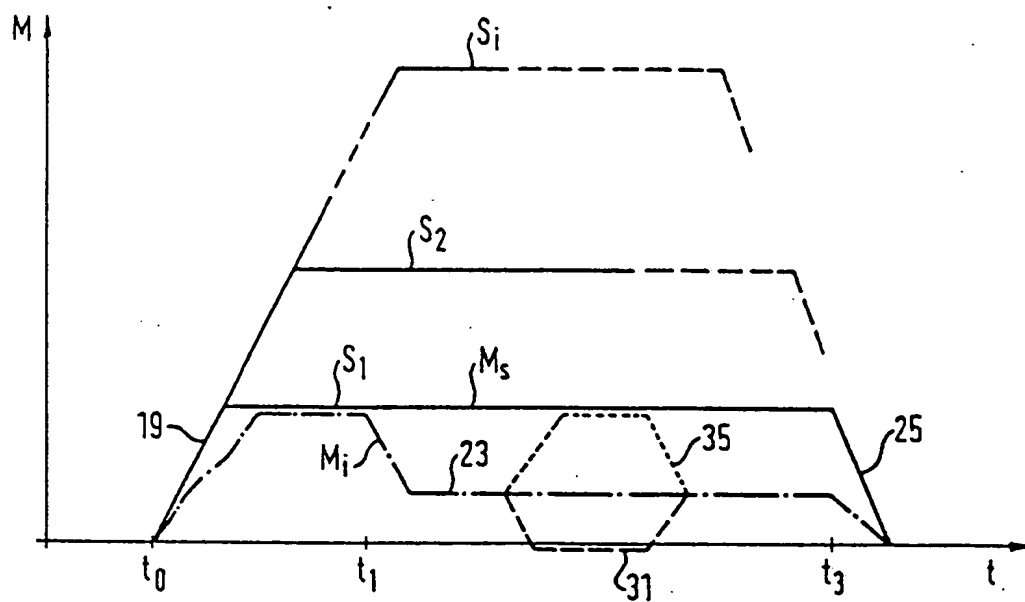


FIG. 3

